

PAT-NO: JP406251930A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 06251930 A

TITLE: MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR MRI

PUBN-DATE: September 9, 1994

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

OTA, KIMIHARU

AOKI, MASAOKI

TAKEUCHI, HIROYUKI

TAKESHIMA, HIROTAKA

INT-CL (IPC): H01F007/02, A61B010/00, G01R033/38

US-CL-CURRENT: 324/312

ABSTRACT:

PURPOSE: To provide the magnetic pole pieces of a magnetic field generator for MRI, which consists of a constitution, wherein the generation of an eddy current is reduced without reducing the degree of uniformity of a magnetic field in a gap and the inclined magnetic field can rise in a prescribed intensity in a short time, and a constitution, wherein a retentive phenomenon is reduced and a distinct image can be obtained.

CONSTITUTION: Two sheets of yoke plates 1 and 1 are arranged in opposition to each other by four pillar shaped yokes 2, discal permanent magnet constitutional bodies 3 and 3 are respectively provided contactingly on the centers of the opposed surfaces of the yokes 1 and 1, magnetic pole pieces 4 and 4 provided contactingly on the gap opposed surfaces of the constitutional bodies 3 and 3 are respectively arranged on protrusions 6 provided on the peripheral edges of discal base materials 5 consisting of iron or the like, the protrusions 6 and surface layer parts 7 in the vicinities of the protrusions 6 are formed of a silicon steel plate or a soft ferrite and a central protrusion part 8, most of which consists of a flat protrusion and which is made of a soft ferrite, is provided on the central part of each discal base material 5. Thereby, a magnetic field in a gap 9 is made uniform and even if an inclined magnetic field coil is energized with a GC pulsed current, an eddy current, which is generated in the vicinities of the protrusion parts 6 on the peripheral edges of the materials 5, is reduced and a distinct sectional image is obtained.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO&Japio

----- KWIC -----

Abstract Text - FPAR (1):

**PURPOSE:** To provide the magnetic pole pieces of a magnetic field generator for MRI, which consists of a constitution, wherein the generation of an eddy current is reduced without reducing the degree of uniformity of a magnetic field in a gap and the inclined magnetic field can rise in a prescribed intensity in a short time, and a constitution, wherein a retentive phenomenon is reduced and a distinct image can be obtained.

Abstract Text - FPAR (2):

**CONSTITUTION:** Two sheets of yoke plates 1 and 1 are arranged in opposition to each other by four pillar shaped yokes 2, discal permanent magnet constitutional bodies 3 and 3 are respectively provided contactingly on the centers of the opposed surfaces of the yokes 1 and 1, magnetic pole pieces 4 and 4 provided contactingly on the gap opposed surfaces of the constitutional bodies 3 and 3 are respectively arranged on protrusions 6 provided on the peripheral edges of discal base materials 5 consisting of iron or the like, the protrusions 6 and surface layer parts 7 in the vicinities of the protrusions 6 are formed of a silicon steel plate or a soft ferrite and a central protrusion part 8, most of which consists of a flat protrusion and which is made of a soft ferrite, is provided on the central part of each discal base material 5. Thereby, a magnetic field in a gap 9 is made uniform and even if an inclined magnetic field coil is energized with a GC pulsed current, an eddy current, which is generated in the vicinities of the protrusion parts 6 on the peripheral edges of the materials 5, is reduced and a distinct sectional image is obtained.

Title of Patent Publication - TTL (1):

**MAGNETIC FIELD GENERATOR FOR MRI**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-251930

(43)公開日 平成6年(1994)9月9日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 F 7/02

D

A 6 1 B 10/00

G 0 1 R 33/38

9219-2 J

G 0 1 N 24/ 06

審査請求 未請求 請求項の数 2 F D (全 6 頁)

(21)出願番号

特願平5-63397

(22)出願日

平成5年(1993)2月25日

(71)出願人 000183417

住友特殊金属株式会社

大阪府大阪市中央区北浜4丁目7番19号

(71)出願人 000153498

株式会社日立メディコ

東京都千代田区内神田1丁目1番14号

(72)発明者 太田 公春

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住

友特殊金属株式会社山崎製作所内

(72)発明者 青木 雅昭

大阪府三島郡島本町江川2丁目15-17 住

友特殊金属株式会社山崎製作所内

(74)代理人 弁理士 押田 良久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 M R I 用磁界発生装置

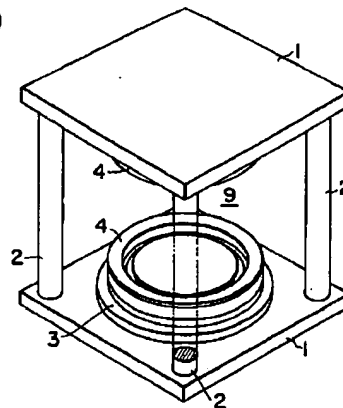
(57)【要約】

【目的】 空隙内の磁界均一度を低下させることなく、渦電流の発生を低減して短時間で傾斜磁界が所定の強度に上昇し得る構成、残磁現象を低減して鮮明な画像を得ることができる構成からなるMRI用磁界発生装置磁極片の提供。

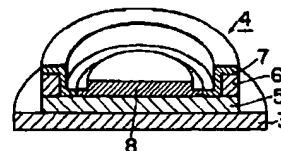
【構成】 2枚の継鉄板1, 1を4本の柱状継鉄2にて対向配置し、各継鉄板1, 1の対向面中央に円盤状永久磁石構成体3, 3を着設し、永久磁石構成体3, 3の空隙対向面に着設した磁極片4, 4を、鉄などの円盤状ベース材料5の周縁上に突起6を配置して突起6とその近傍の表層部7をけい素鋼板またはソフトフェライトにて形成し、中央部に大部分が平坦突起からなるソフトフェライト製の中央突起部8を設ける。

【効果】 空隙9の磁界が均一化され、傾斜磁界コイルにGCパルスが通電されても周縁突起部6近傍に発生する渦電流は低減され、鮮明な断層画像が得られる。

(A)



(B)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片の周縁部に設けた突起部及びその近傍の少なくとも表層が積層けい素鋼板またはソフトフェライトで形成されたことを特徴とするMRI用磁界発生装置。

【請求項2】 突起部及びその近傍を除く磁極片の表層部がソフトフェライトで形成されたことを特徴とする請求項1記載のMRI用磁界発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、医療用磁気共鳴断層撮影装置等に用いられる磁界発生装置の改良に係り、空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、特にその周縁部に設けた突起部の少なくとも表層を積層けい素鋼板またはソフトフェライトで形成し、空隙内の磁界均一度を損なうことなく、傾斜磁界コイルによる磁極片内の渦電流、残磁現象の低減を図り、高速撮像を可能にしたMRI用磁界発生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】医療用磁気共鳴断層撮影装置（以下MRIという）は、強力な磁界を形成する磁界発生装置の空隙内に、被検者の一部または全部を挿入して、対象物の断層イメージを得てその組織の性質まで描き出すことができる装置である。上記MRI用の磁界発生装置において、空隙は被検者の一部または全部が挿入できるだけの広さが必要であり、かつ鮮明な断層イメージを得るために、通常、空隙内の撮像視野内には、0.02～2.0Tでかつ $1 \times 10^{-4}$ 以下の精度を有する安定した強力な均一磁界を形成することが要求される。

【0003】MRIに用いる磁界発生装置として、磁界発生源にR-F e-B系磁石を用いた一対の永久磁石構成体の各々の一端に磁極片を固着して対向させ、他方端を継鉄にて連結し、磁極片間の空隙内に、静磁界を発生させる構成が知られている。磁極片には、空隙内における磁界分布の均一度を向上させるために、周辺部に環状突起を設けてあり、通常、電磁軟鉄、純鉄等の磁性材料を削り出した板状のバルク（一体物）から構成される（特開昭60-88407号公報）。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】MRIでは、空隙内の位置情報を得るために、通常X、Y、Zの3方向に対応する3組のコイル群からなる傾斜磁界コイル（GC）が各磁極片の近傍に配置され、この傾斜磁界コイルに、パルス電流を通電することによって台形波状に時間変化する所望方向の傾斜磁界を発生することができる。

【0005】しかし、磁極片の配置は傾斜磁界コイルとの関係において、渦電流や残留磁気の問題を有している。つまり、MRI用磁界発生装置は、通常均一な磁界

に傾斜磁界を加えることによって核磁気共鳴の信号に位置情報を与えている。一つの画像を得るためには多数のパルス状傾斜磁界を加えることが必要である。この傾斜磁界は傾斜磁界コイルにパルス電流を与えて発生させるが、その近傍に鉄のような導電率の高い導体があると渦電流が発生し、傾斜磁界が急峻には立ち上がりにくくなる。

【0006】例えば、高速撮像するためのFSE法（ファーストスピンエコー法）では、傾斜磁界を高速で切りかえるパルスシーケンスを利用するため、渦電流の発生が極めて少ない磁界発生装置が必要とされている。

【0007】この発明は、MRI用磁界発生装置の磁極片における上記現状に鑑み提案するもので、空隙内の磁界均一度を低下させることなく、渦電流の発生を低減して短時間で傾斜磁界が所定の強度に上昇し、鮮明な画像を得ることができる構成からなる磁極片の提供を目的とし、さらに加工、製造が容易で組立て作業性にすぐれた構成からなる磁極片の提供を目的としている。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】この発明は、渦電流の発生を低減し、また残磁現象を低減しFSE法などの高速撮像が可能な構成からなるMRI用磁界発生装置を目的に種々検討した結果、空隙を形成して対向する一対の磁極片の表層部をソフトフェライトで形成し、さらに磁極片の周縁部に設けた突起部の表層をソフトフェライトまたは積層けい素鋼板で形成することにより、磁界強度および磁界均一度を低下させることなく、傾斜磁界コイルによる渦電流、並びに残磁現象を低減でき、さらに加工、製造が容易となることを知見した。

【0009】すなわち、この発明は、空隙を形成して対向する一対の磁極片を有し、該空隙に磁界を発生させるMRI用磁界発生装置において、磁極片の周縁部に設けた突起部及びその近傍の少なくとも表層が積層けい素鋼板またはソフトフェライトで形成されたことを特徴とするMRI用磁界発生装置である。また、この発明は上記の構成において、周縁突起部及びその近傍を除く磁極片の表層部がソフトフェライトで形成されたことを特徴とするMRI用磁界発生装置である。この発明は、磁極片の周縁突起部及びその近傍の全てまたは表層を積層けい素鋼板またはソフトフェライトで形成、中央部に中央突起部を設け、あるいはさらに周縁突起部及びその近傍以外の中央突起部を含む表層部をソフトフェライトで形成したことを特徴とするが、周縁突起部を含む磁極片の主体を軟鉄材などの磁性材ベースで構成し、その上に積層けい素鋼板またはソフトフェライトを積層する構成を採用できる。

【0010】この発明において、磁気回路には2枚の継鉄板を4本の柱状継鉄にて対向配置し、各継鉄板の対向面に磁極片を着設する構成のほか、筒状継鉄内に一対の永久磁石構成体を対向配置し、一対の永久磁石構成体を

配置しない内周面に複数の補助永久磁石構成体を配置するなど種々の構成が採用でき、筒状継鉄の場合、鉄等の軟質磁性材料が用いられるが、特に鉄、けい素鋼板等の積層体からなる継鉄を用いることにより渦電流の低減効果が大きくなる。

【0011】筒状継鉄の場合、上記一対の永久磁石構成体は空隙内の磁界形成に寄与する主たる磁界発生源であり、通常空隙内の磁界方向に対して直交する方向に空隙対向面を形成している。これら一対の永久磁石構成体の内周面に沿って配置される傾斜磁界コイルの影響によって、該永久磁石構成体の内部にその空隙対向面と平行方向に渦電流が発生する。この渦電流の発生を低減させるためには、例えば、永久磁石構成体は各々の永久磁石ブロックの磁化方向に直交方向に電気的に絶縁されることが重要であり、かかる構成により見かけ上の比抵抗が大きくなり、渦電流が抑制できる。永久磁石構成体の磁化方向は、磁気回路の構成や継鉄上の配置箇所などに応じて種々選定されるが、所要空隙に均一な静磁界が得られるように配置されれば、いかなる方向でもよい。かかる磁気回路に用いる磁石構成体の永久磁石は、フェライト磁石、アルニコ系磁石、希土類コバルト系磁石が使用できるが、特に、RとしてNdやPrを中心とする資源的に豊富な軽希土類を用い、B、Feを主成分として30 MG Oe以上の極めて高いエネルギー積を示す、Fe-B-R系永久磁石を使用することにより、著しく小型化することができる。

【0012】この発明において、積層けい素鋼板はその積層方向が該磁極片の対向方向に積層された場合、また、磁極片の対向方向と直交する方向に積層された場合のいずれでもよく、さらに必要に応じて積層方向を変えて複数層とした構成でもよく、あるいは種々の形状からなる磁極片用部材となして、これを組み合わせて所要形状とすることができる。さらに、使用するけい素鋼板の磁化容易軸方向の方向性は任意であるが、無方向性けい素鋼板(JISC2552等)にて構成した場合、残磁現象低減に顕著な効果を示す。また、けい素鋼板の厚みは任意の厚みでよいが、一般に入手し易いけい素鋼板は0.35mm程度と薄いため、積層、組立て作業性が極めて良好となる構成として、いったん所定寸法からなる複数枚の矩形無方向性けい素鋼板を磁極片の対向方向と直交する方向に所定枚数積層したブロック状磁極片用部材を複数個作成し、これら複数個のブロック状磁極片用部材を直接磁石構成体上に固着するか、板状の磁性材ベースを介して磁石構成体上に固着する等の構成を提案する。

【0013】この発明において、ソフトフェライトの材質は、Mn-Znフェライト粉、Ni-Znフェライト粉等の種々のソフトフェライト材からなり、ソフトフェライト製の大ブロックを所要形状に加工したもの、あるいは小ブロックを所要形状に接着剤で組立てたもの等が

利用でき、さらに、磁界の均一度向上を目的に、空隙側周辺部に種々断面形状の環状突起を設けたり、中央部に円形凸状部や断面台形状の突起部を設けたり、また、磁極片の所要位置に、磁界の均一度調整を目的に、磁性材または磁石からなる磁界調整片を着設してもよい。上記ソフトフェライトの小ブロックを製造するには、例えば、Mn-Znフェライト粉等を所要形状に圧縮成形した後、焼結し、さらに密度の向上のため、HP、HIP(Hot Isostatic Pressing)法等の手段を併用するのもよく、得られた小ブロックを、エポキシ樹脂などの接着剤等を用いて接着して、所要形状に組み立てるとよい。ソフトフェライト材のうち、例えば、Mn-Zn系ソフトフェライトは、磁界の均等化手段として要求される高透磁率および高い飽和磁束密度Bsを有し、また渦電流対策として十分に高い比抵抗と、残磁現象を防止し得る低保磁力(数A/m)の特性を持っている。この発明において、ソフトフェライトは磁石構成体から発生する磁束を効率よく空隙に作用させるためには、0.4T以上のBsを有するものが好ましい。すなわち、ソフトフェライト内を通過する磁束量は、そのBsにより決定され、その値が小さいと必然的に飽和して磁界強度が低下してしまい、これを防ぐには磁石を大きくする必要がある。装置の大型化を招くこととなる。従って、Bsは0.4T以上が望ましく、好ましくは0.5T以上、さらに好ましくは0.55T以上である。また、ソフトフェライトのHcが大きすぎると、残磁現象が生じるため、Hcは50A/m以下が望ましく、好ましくは20A/m以下、さらに好ましくは10A/m以下である。また、渦電流の低減には、比抵抗ρが $10^{-5}\Omega\cdot m$ 以上、さらに好ましくは $10^{-3}\Omega\cdot m$ 以上が望ましい。

#### 【0014】

【作用】この発明によるMRI用磁界発生装置の構成並びに作用を図面に基いて詳述する。図1は板状及び柱状継鉄を用いた磁気回路にこの発明を適用したMRI用磁界発生装置の実施例を示す斜視説明図であり、Aは全体、Bは磁極片を示す。図2は筒状継鉄を用いた磁気回路にこの発明を適用したMRI用磁界発生装置の実施例を示す斜視説明図であり、Aは全体、Bは磁極片を示す。図1に示す磁界発生装置は、2枚の継鉄板1、1を4本の柱状継鉄2にて対向配置し、各継鉄板1、1の対向面中央に円盤状永久磁石構成体3、3を着設してあり、さらに永久磁石構成体3、3上に磁極片4、4を着設してあり、磁極片4は図1のBに示す如く、鉄などの円盤状ベース材料5の周縁上に突起6を配置してある。突起6とその近傍の表層部7をけい素鋼板またはソフトフェライトにて形成することにより、傾斜磁界コイルにGCパルスが通電されても周縁突起部近傍に発生する渦電流は低減される。また、磁極片4の中央部は大部分が平坦突起からなるソフトフェライト製の中央突起部8を

設けることにより、空隙9の磁界が均一化され、傾斜磁界コイルによる渦電流の低減の効果とともに、GCパルスにより生じる残磁を低減させる作用効果がある。

【0015】図2に示す磁界発生装置は、六角筒状の筒状継鉄10の内周面に永久磁石構成体を配置する構成で、継鉄には鉄等の軟質磁性材料が用いられるが、特に鉄、ケイ素鋼板等の積層体からなる継鉄を用いることにより渦電流の低減効果が大きくなる。空隙内の磁界形成に寄与する主たる磁界発生源である一対の永久磁石構成体11a, 11dは、通常空隙12内の磁界方向Yに磁化方向を有し、空隙対向面を形成している。その他の永久磁石構成体11b, 11c, 11e, 11fの磁化方向は、磁気回路の構成や継鉄上の配置箇所などに応じて種々選定されるが、所要空隙に均一な静磁界が得られるように配置されれば、いかなる方向でもよい。永久磁石構成体はいかなる形状、構成でもよく、特に磁極片の設置されていない図中の符号11b, 11c, 11e, 11fの永久磁石構成体を複数の電氣的に絶縁された永久磁石ブロックで構成することにより、該永久磁石構成体に発生する渦電流を低減することができる。なお、傾斜磁界コイルは多角筒状に組合せ配置した永久磁石構成体内周面に沿って設置される。

【0016】磁極片13は主要磁界を形成する一対の永久磁石構成体11a, 11dの空隙対向面に設置され、ボルト等で磁石を貫通して継鉄10に固定される。磁極片の形状は、磁気回路の構成や永久磁石構成体の配置箇所などに応じて種々選定されるが、上記の磁極片形状の範囲内で所要空隙に均一な静磁界が得られるように選定すればよい。磁極片13のベース材料14の材質としては、鉄などの軟質磁性材料が適宜選定でき、磁極片13の開口部空隙対向面両端部に突起(シム)15を配置してある。突起15とその近傍の表層部16をけい素鋼板またはソフトフェライトにて形成することにより、傾斜磁界コイルにGCパルスが通電されても周縁突起部近傍に発生する渦電流は低減される。また、磁極片13の中央にも中央突起部17を設けてあり、中央突起部17をソフトフェライトにて形成することにより、空隙の磁界が均一化され、傾斜磁界コイルによる渦電流の低減の効果とともに、GCパルスにより生じる残磁を低減させる作用効果がある。

【0017】この発明において、磁極片の突起部に用いるけい素鋼板は飽和磁束密度Bsが高く、空隙の磁界均一化が達成しやすく、また保磁力Hc及びヒステリシス損の小さな電氣的に絶縁されている薄板を複数枚積層した構成であることから、傾斜磁界コイルにGCパルスが通電されても周縁突起部近傍に発生する渦電流は低減され、しかも残磁現象を低減させることも可能となる。また、磁極片表層のソフトフェライト層により空隙の磁界が均一化され、傾斜磁界コイルによる渦電流の低減の効果とともに、GCパルスにより生じる残磁を低減させる

効果があり、鮮明な断層画像が得られる。

【0018】

【実施例】図1の構成と同様の磁界発生装置に、BHmax35MGOeを有するNd-Fe-B系永久磁石を用い、純鉄のベース材料の周縁上に突起を配置して突起とその近傍の表層部をけい素鋼板で形成し、中央部は大部分が平坦突起からなるソフトフェライト製の中央突起部を設けた。この発明の構成において磁極片空隙対向面間距離を500mmに設定し、傾斜磁界コイルにパルス電流を与えて多数のパルス状傾斜磁界を加えて、傾斜磁界の立ち上がり特性と画像特性を測定した。なお、無方向性けい素鋼板は、 $H_c = 40 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 1.7 \text{ T}$ 、 $\rho = 45 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ である。ソフトフェライトはMn-Zn系フェライト、 $H_c = 6.0 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 0.58 \text{ T}$ 、 $\rho = 0.2 \Omega \cdot \text{m}$ である。純鉄は、 $H_c = 80 \text{ A/m}$ 、 $B_s = 2.0 \text{ T}$ 、 $\rho = 1 \times 10^{-7} \Omega \cdot \text{m}$ である。

【0019】比較のため、実施例1の磁界発生装置に全てが上記性状純鉄からなる同一寸法、形状からなる磁極片を配置して、同様に傾斜磁界の立ち上がり特性と画像特性を測定した。この発明による磁界発生装置の傾斜磁界の立ち上がり特性は、図3に実践で示す如く、一点鎖線で示す比較例に対して大幅に向上して、すぐれた画像が得られた。

【0020】

【発明の効果】この発明によるMRI用磁界発生装置は、磁極片の主体を軟鉄材などの磁性材ベースで構成し、その上に磁極片の周縁突起部の表層を積層けい素鋼板またはソフトフェライトで形成、あるいはさらに周縁突起部近傍以外の表層部をソフトフェライトで形成したことを特徴とし、けい素鋼板は飽和磁束密度Bsが高く、空隙の磁界均一化が達成しやすく、また保磁力Hc及びヒステリシス損の小さな電氣的に絶縁されている薄板を複数枚積層した構成であることから、傾斜磁界コイルにGCパルスが通電されても周縁突起部近傍に発生する渦電流は低減され、しかも残磁現象を低減させることも可能となる。さらに、磁極片の加工、製造が容易で組立て作業性にすぐれている。

【図面の簡単な説明】

【図1】板状及び柱状継鉄を用いた磁気回路にこの発明を適用したMRI用磁界発生装置の実施例を示す斜視説明図であり、Aは全体、Bは磁極片を示す。

【図2】筒状継鉄を用いた磁気回路にこの発明を適用したMRI用磁界発生装置の実施例を示す斜視説明図であり、Aは全体、Bは磁極片を示す。

【図3】傾斜磁界の立ち上がり率を示す時間とGC磁界強度の関係を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 継鉄板
- 2 柱状継鉄

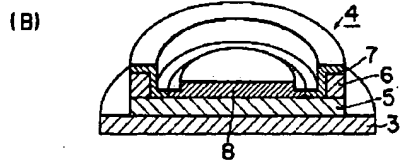
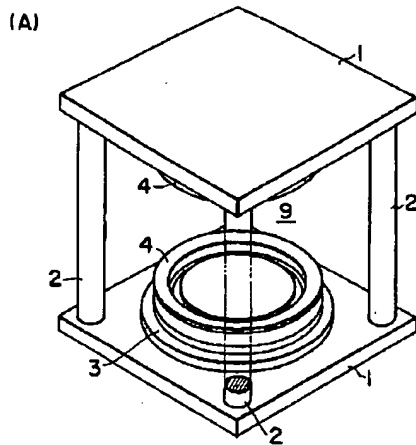
7

8

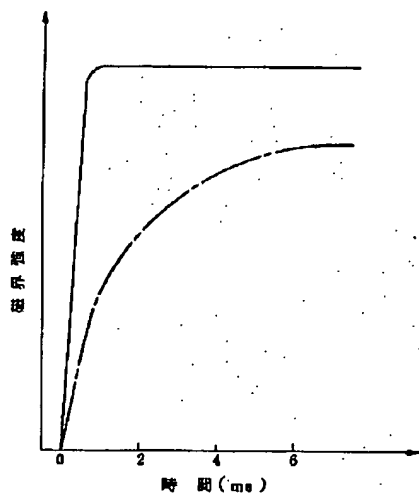
3, 11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f  
 永久磁石構成体  
 4, 13 磁極片  
 9, 12 空隙  
 10 筒状継鉄

5, 14 ベース材料  
 6, 15 突起  
 7, 16 表層部  
 8, 17 中央突起部

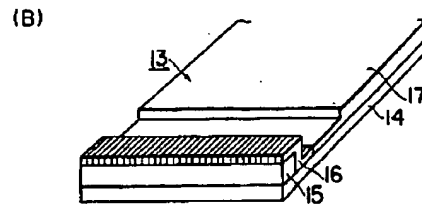
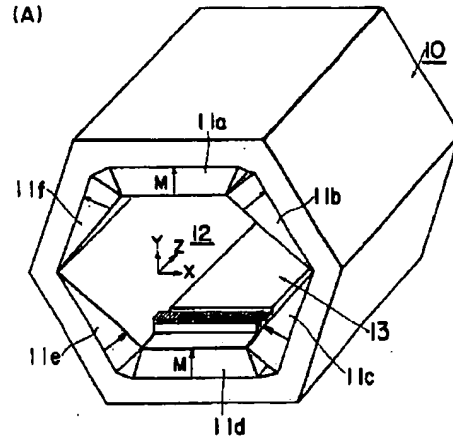
【図1】



【図3】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 竹内 博幸  
東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株  
式会社日立メディコ内

(72)発明者 竹島 弘隆  
東京都千代田区内神田一丁目1番14号 株  
式会社日立メディコ内